

Der Beitrag Helmerts zur Definition der Geodäsie

André Brall

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
Abteilung III Geoinformation

ZUSAMMENFASSUNG

Die berühmte Helmertsche Definition der Geodäsie als „Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“ hat weite Verbreitung und Akzeptanz gefunden. Die Formulierung selbst ist allerdings wenig innovativ und verweist auf ältere Definitionen. Der von Helmert eingeleitete fundamentale Paradigmenwechsel in der Geodäsie findet nicht im ersten Satz, sondern in den folgenden Kapiteln der „Mathematischen und Physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“ statt. Indem Helmert sein Forschungsprogramm umsetzt, wesentliche Wissensbestände kanonisiert und das Königliche Geodätische Institut in Berlin bzw. Potsdam international und interdisziplinär profiliert, prägt er die moderne Geodäsie und ihre wissenschaftliche Gemeinschaft maßgeblich mit. Die wesentliche Beschränkung des Instituts auf den Bereich der Erdmessung ist auf die von Helmert mitgetragene Abgrenzung zur preußischen Landesaufnahme nach dem Tod Johann Jacob Baeyers zurückzuführen. Verstärkt durch das wissenschaftliche Profil Helmerts und seine beherrschende Stellung bis 1917 überträgt sich diese Verengung auf den Begriff „Geodäsie“. Für den beruflichen Erfolg der heute Studierenden sowie die Nachwuchsgewinnung, nicht nur für das Technische Referendariat, ist bedeutsam, dass die Geodäsie in ihrer ganzen Bandbreite und Bedeutung für Gesellschaft, Politik und Verwaltung wahrgenommen wird. Deshalb ist eine Definition der Geodäsie wünschenswert, die den spezifischen Gegenstandsbereich der Wissenschaft, ihre Methoden und ihre gesellschaftliche Funktion reflektiert.

ABSTRACT

The famous Helmert definition of geodesy as "science of the measuring and mapping of the Earth's surface" has found widespread acceptance. However, the wording itself is not very innovative and refers to older definitions. The fundamental paradigm shift in geodesy, introduced by Helmert, takes place not in the first sentence, but in the following chapters of the "Mathematical and Physical Theories of Higher Geodesy". By implementing his research program, canonizing essential knowledge and giving the Royal Geodetic Institute in Berlin respectively Potsdam an international and interdisciplinary profile, Helmert plays a decisive role in modern geodesy and its scientific community. The limitation of the Institute

to the field of "higher geodesy" after Johann Jacob Baeyer's death is due to the demarcation of the Prussian Land Survey and the Institute, which was supported by Helmert. Reinforced by the scientific profile of Helmert and his dominant position until 1917, this construction also coins the general term "geodesy". For the success of today's students, as well as for the technical traineeship and the chartered surveyors, it is important that geodesy is perceived in its entire range and importance for society, politics and administration. Therefore, a definition of geodesy is desirable, which reflects both the specific subject matter of science, its methods and its social function.

1 Einleitung

Vor 100 Jahren verstarb mit Robert Friedrich Helmert einer der bedeutendsten deutschen Geodäten. Was bleibt nach dieser Zeit von dem ungewöhnlich erfolgreichen Wissenschaftler? In seiner Geburtsstadt erinnert eine Gedenktafel an ihn, der DVW sammelt Spenden für die Rekonstruktion des nach ihm benannten Turms und verleiht eine Helmert-Medaille. Zwei Straßen, ein Mondkrater und ein Vermessungsschiff sind nach ihm benannt (Becker 2013). Den heute Studierenden dürfte der Name bekannt sein, ein tieferes Wissen um die außerordentliche Bedeutung Helmersts darf allerdings nicht mehr vorausgesetzt werden.

Das ist angesichts des zeitlichen Abstands, Helmert wurde am 31.7.1843 geboren, und der dynamischen Entwicklung der Wissenschaft nachvollziehbar. Es ist unwahrscheinlich, dass heute "Die Mathematischen und Physikalischen Theorieen der Höheren Geodäsie" (Helmert 1880) für Prüfungsvorbereitungen herangezogen werden. Es gibt modernere, in der mathematischen Notation verständlichere Lehrbücher. Zudem ist kaum damit zu rechnen, dass die acht Gleichungen des Helmert-Systems oder die Bestimmung der Erdabplattung aus der Mondbewegung thematisiert werden. Warum sollten sich also Studierende heute noch mit einem im 19. Jahrhundert in Freiberg geborenen Wissenschaftler beschäftigen? Die Antwort fällt aus Sicht der Auszubildenden leicht: Helmert hat wesentliche Impulse gesetzt, nicht nur mit seiner berühmten Definition: „Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“ (Helmert 1880, S. 3).

Vor dem Hintergrund der Erwachsenenbildung (Teilnehmerzentrierung) kommt es aber darauf an, die Geodäsie, ihre Probleme und Methoden, aus der Sicht der Studierenden zu erschließen. Die Beschäftigung mit dem Leben Helmersts ermöglicht einen persönlichen Blick auf entscheidende Momente in der Entwicklung der modernen Geodäsie. Sie erlaubt es, aktuelle Methoden und Wissensbestände, nicht nur in der Physikalischen Geodäsie, aus ihrer historischen Entwicklung heraus zu verstehen. Die kritische Auseinandersetzung mit der Perspektive Helmersts auf die Geodäsie verweist aber auch auf die konkrete Karriereplanung: Werde ich mein Geld nach dem Studium tatsächlich lediglich mit dem Abbilden und Ausmessen der Erdoberfläche verdienen? Die Erarbeitung der Entwicklungsstränge der Erdmessung, die Einbettung des geodätischen Fortschritts in die jeweils aktuellen gesellschaftlichen Problemfelder und auch der interdisziplinäre Blick auf Nachbardisziplinen kann sich als wertvolle Investition erweisen. Dies betrifft in besonderen Maße diejenigen, die sich nach dem Studium, z.B. in Berlin, für das Technische Referendariat und damit eine Zukunft als Führungskraft in Verwaltung oder Privatwirtschaft entscheiden (Kummer 2014).

2 Helmer's wissenschaftliches Werk

Leben und Wirken Helmer's wurden in den 100 Jahren, die seit seinem Tod vergangen sind, mehrfach ausführlich gewürdigt (Peschel 1967), (Löschner und Wolf 1970), (Wolf 1993). Helmer't hat „die Geodäsie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin“ (Platen und Torge 1993, S. 581) begründet, die Erdmessung „durch seine Arbeiten in ganz neue Bahnen gelenkt“ (Eggert 1917, S. 295) und war „zweifello's einer der größten Geodäten unserer letzten Jahrhunderte“ (Helmut Moritz 2012, S. 195). Die Auswirkungen von Helmer's Hauptwerk (1880/1884), in dem er das geometrische Fundament der Geodäsie konsequent um physikalische Begriffe und Methoden erweitert, sind bis heute spürbar. Die Module, Skripte und Lehrbücher der Physikalischen Geodäsie befassen sich mit Problemen, die bereits Helmer't beschäftigten: Lotabweichungen, Schweremessungen, Potentialtheorie, zeitliche Änderungen des Schwerfeldes und Höhensysteme. Völlig zu Recht verweist Wolf (1967, S. 237) darauf, dass die Bedeutung Helmer's auch darin zum Ausdruck kommt, dass sein Hauptwerk⁵ 1962 ohne Veränderung neu aufgelegt wurde.

Höpfner (2013, S. 1) fasst die wissenschaftliche Leistung zusammen: „Helmer't erzielte bedeutsame Resultate auf den Forschungsgebieten Fehlertheorie, Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate, Methoden der Netzausgleichung, Theorie des geometrischen und trigonometrischen Nivellements, Geoidbestimmung, absolute und relative Schweremessungen, Reduktionen von Schwerebeschleunigungen, Lotabweichungen, Aufbau der Erdkruste, Isostasie und Massenverteilung der Erde sowie Dimensionen der Erde und des Erdellipsoids. Friedrich Robert Helmer't ist einer der größten Geodäten des 19. und 20. Jahrhunderts“.

Zu erwähnen ist, dass auf Anregung Helmer's an der Bergakademie Freiberg zwischen 1905 und 1910 in der Reichen Zeche Horizontalpendelmessungen zur Untersuchung von Lotschwankungen durchgeführt wurden (Oelsner 1997, S. 87). Auch für die Zeit nach 1910 hatte Helmer't Aktivitäten geplant, so die Installation eines Horizontalpendelapparats in einer möglichst großen Teufe (Helmer't 1910a). Dabei bot die Sächsische Regierung an, die Überwachung der Apparate kostenlos zu übernehmen. Dennoch war der Preußische Finanzminister angesichts der übrigen Kosten nicht geneigt, dem Vorhaben zu entsprechen. Helmer't, der in diesen Fragen über Verhandlungsgeschick verfügte, formulierte einen dramatisch hohen Kostenvoranschlag für die Realisation des Versuchsaufbaus in Potsdam (Helmer't 1910b). Dies führte schließlich zur Zustimmung des Ministers.

Unter den zahlreichen Publikationen Helmer's ist neben dem Hauptwerk (1880/1884) besonders „Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate“ (Helmer't 1872) zu erwähnen. Es ist vor dem Hintergrund des Helmer'schen Beitrag bedauerlich, dass die Chi-Quadrat Verteilung⁶ nicht seinen Namen trägt (Wolf 1993, S. 584). Die Beschäftigung mit Fragen der mathematischen Statistik im Hinblick auf Natur- bzw. Ingenieurwissenschaften war Ende des 19. Jahrhun-

⁵ In einer von Google digitalisierten 1. Auflage des 2. Bandes von 1884 ist auf S. 632 der Leihzettel der Bibliothek der University of California enthalten. Man erkennt, dass das Buch in deutscher Sprache ab 1924 mehrfach ausgeliehen wurde. Die letzte Leihe ist 1971 dokumentiert, das Buch war fast 90 Jahre nach seinem Erscheinen und trotz der Sprachbarriere noch von wissenschaftlichem Interesse. 1964 wurde das Werk von der U.S. Regierung übersetzt (Helmer't 1964).

⁶ Die Zusammenhänge zwischen den Ableitungen von Gosset und Helmer't behandelt Zabe'll (2008). Es findet sich vereinzelt die Bezeichnung: „Helmer't-Pearson Verteilung“ (Reinert et al. 2013, S. 27).

derts nicht selbstverständlich. Helmert wird aus diesem Grund ausdrücklich in der Geschichte der Statistik in Deutschland gewürdigt (Wilrich 2011, S. 138). Tatsächlich wirkt es befremdlich, wenn ein bekannter sowjetischer Geodät in einem Beitrag zur Geschichte der Geodäsie feststellt, dass ihre Geschichte oft vernachlässigt werde und gleichzeitig Helmert übergeht (Isotow 1983).

3 Der Inhalt der Geodäsie und die Aufgaben des Königlich Geodätischen Instituts

Um die inhaltliche Ausrichtung der Geodäsie durch Helmert besser verorten zu können, erscheint es sinnvoll, auf einen wesentlichen Punkt seiner Karriere detaillierter einzugehen. 1870 wurde Helmert Lehrer in Aachen und 1872, durch die Aufwertung dieser Stelle, Professor. An der Hochschule profilierte sich Helmert wissenschaftlich und veröffentlichte seine beiden bedeutendsten Monographien über die Ausgleichungsrechnung und die Theorien der Geodäsie. Damit ist der Umriss seines wissenschaftlichen Forschungsprogramms sichtbar. 1885 starb der Präsident des Königlich Geodätischen Instituts in Berlin, Generalleutnant z. D. Johann Jacob Baeyer. Die Spannungen mit der militärisch organisierten preußischen Landesaufnahme, die Baeyer durch Reformvorschläge, Kritik an der Qualität ihrer Arbeiten und parallele Messungstätigkeiten hervorgerufen hatte, waren für das preußische Kultusministerium ein brisantes Problem. Für den einflussreichen Ministerialbeamten Friedrich Althoff bzw. den Minister stellte sich dazu zusätzlich die Aufgabe, das mit der Gradmessung Baeyers verbundene internationale Prestige für Preußen zu bewahren und eine geeignete Person für die Institutsleitung zu finden: „Nach dem im September d. Jr. erfolgten Ableben Baeyer's mußte es mein Bestreben sein, die Verbindung des Zentral-Bureaus mit dem geodätischen Institute als eine wohlverdiente wissenschaftliche Ehrenstellung Preußens nach Möglichkeit zu erhalten. Zu diesem Zweck habe ich den kommissarischen Nachfolger Baeyer's, den Professor Helmert, einen der ausgezeichnetsten Geodäten der Gegenwart, veranlasst, die Geschäfte des Zentral-Bureaus einstweilen und bis auf weitere Bestimmung fortzuführen“ (Althoff 1886). Es bot sich an, die Neu-besetzung zugleich zu nutzen, um den Konflikt mit der Landesaufnahme zu befrieden. Helmert erschien nicht nur aufgrund seiner wissenschaftlichen Reputation geeignet, er war auch vom Konfliktfeld um Baeyer nicht belastet und verfügte als Zivilist über keine Hausmacht im Militär. Das waren vorteilhafte Voraussetzungen für die von Landesaufnahme und Kultusministerium gleichermaßen gewünschte dauerhafte Entflechtung der sich überschneidenden Aufgabengebiete. Die Verhandlungen unter Beteiligung Helmer's mündeten schließlich in ein neues Statut für das Institut, eine Geschäftsordnung des wissenschaftlichen Beirates und eine strikte Abgrenzung. Das Institut sollte in Zukunft keine Tätigkeiten mehr ausführen, die der Landesaufnahme zugeordnet waren (Grundlinienmessung, Triangulation, Nivellements). Um den Konflikt zu lösen, die Neuorganisation und seine endgültige Ernennung voranzutreiben, akzeptierte Helmert im Einvernehmen mit den treibenden Akteuren (Althoff, Foerster) die Abtretung dieser klassischen geodätischen Messungen an die Landesaufnahme. Das ist einer der Gründe für die nachfolgende Neuausrichtung des Instituts auf interdisziplinäre geowissenschaftliche Forschungsfragen. Zugleich konnte sich Helmert auf das von ihm etablierte Gebiet der Physikalischen Geodäsie konzentrieren.

Die immense Bedeutung des Instituts sowie der Reorganisation wurde von Minister von Goßler gegenüber dem König im Zusammenhang mit der 8. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung ausdrücklich betont. In Zukunft werde die vorher nur durch die Person Baeyers vermit-

telte „Führerstellung Preußens im Bereich der Internationalen Erdmessung zu einer dauerhaften, von dem Wechsel der Personen unabhängigen Einrichtung. Gleichen Schritt mit dieser erfreulichen Entwicklung der internationalen Beziehungen hat auch die Reorganisation des Geodätischen Instituts als einer inneren preußischen Anstalt gehalten. Die bezüglichlichen Arbeiten sind zum Abschlusse reif und zwar, wie ich schon jetzt sagen darf, zu einem sehr befriedigenden Abschlusse, indem der schädliche und kostspielige Dualismus zwischen dem geodätischen Institut und der Landesaufnahme, der so vielen unerquicklichen Differenzen geführt hat, in Zukunft wegfallen und das Geodätische Institut sich fernerhin um so eifriger seinen wissenschaftlichen Aufgaben zuwenden kann und auf diese Weise in den Stand kommen wird, Hand in Hand mit der Landesaufnahme fördersam zu wirken, statt wie bisher mit derselben nutzlos zu rivalisieren“ (Goßler 1886). Nach der erfolgreichen Reorganisation des Instituts und der Konferenz von 1886 wurde Helmert 1887 endgültig die Leitung des Geodätischen Instituts und des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung übertragen. Zugleich wurde er zum Professor ernannt. Damit verfügte Helmert über eine dominierende Position in der wissenschaftlichen Gemeinschaft, setzte sein Forschungsprogramm erfolgreich um und prägte dadurch auch den Inhalt des Begriffs „Geodäsie“.

Durch die von ihm mitgetragene Ausrichtung des Geodätischen Instituts war aber zugleich eine Befassung mit vielen für Staat und Gesellschaft interessanten Problemen ausgeschlossen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass sich das Institut im Verlauf seiner Entwicklung ohne diese Restriktion Forschungsfragen in weiteren Bereichen, etwa der Landes- oder Katastervermessung, erschlossen hätte. Vor dem Hintergrund, dass Helmert eine Vielzahl von Publikationen auch im Bereich der Niederen Geodäsie verfasste, ist durchaus denkbar, dass man dann heute an zusätzliche, bahnbrechende Forschungen über die Ausgleichsrechnung in der Ingenieurvermessung oder die Verknüpfung des Liegenschaftskatasters mit den übergeordneten geodätischen Bezugssystemen zu erinnern hätte. Dass die von Helmert auch im Interesse seiner Ernennung beförderte Abgrenzung zu Aufgaben und Methodenpool der Landesaufnahme nicht unumstritten war, zeigt sich etwa darin, dass ein Nachfolger, Ernst Kohlschütter, nach dem verlorenen Weltkrieg diesen Schritt rückgängig zu machen suchte: „Die Vereinbarung über das Verhältnis zwischen dem Königlich Geodätischen Institute und der Königlichen Landesaufnahme vom 5. Februar 1887, die in den hiesigen Akten nur die Nummer U I 10633 trägt, was offenbar die Aktennummer des Kultusministerium ist, war ausschließlich gegen das Geodätische Institut gerichtet und bedeutete seinerzeit eine Knebelung und einen Zwang zur Umstellung des Institutes“ (Kohlschütter 1924).

4 Helmersts Definition der Geodäsie

Die Frage, was unter dem Begriff „Geodäsie“ zu verstehen sei, wird sehr unterschiedlich beantwortet. Ist die Geodäsie eine „Ingenieurwissenschaft im Wirkungsfeld der Fächer angewandte Mathematik, Informatik, Physik, Luft- und Raumfahrt und Geowissenschaften“ (Universität Stuttgart 2016)? Ist sie eine „Kerndisziplin der Erdbeobachtung“ und „Mischung aus mathematisch-physikalisch geprägter Ingenieur- und Geowissenschaft mit engen Bezügen zu den Rechts-, Umwelt- und Gesellschaftswissenschaften“ (Universität Hannover 2016)? Ist der „Gegenstand der Geodäsie [...] die Vermessung und Visualisierung unserer Umwelt, die Analyse ihrer räumlichen und zeitlichen Veränderungen und die Verwendung dieser Informationen für vielfältige Aufgaben in Gesellschaft und Wissenschaft“ (Kutterer 2010)? Oder lässt sich das Aufgabengebiet so beschrei-

ben: „Die Geodäsie hat die Aufgabe, die Figur und das äußere Schwerefeld der Erde und anderer Himmelskörper als Funktion der Zeit aus Beobachtungen auf den Oberflächen und außerhalb dieser Körper zu bestimmen“ (Torge 2003, S. 2)?

Aristoteles unterscheidet in der Metaphysik die „geometria“ als eine „sich im Abstrakten sich bewegende Tätigkeit deutlich von der geodaisia als einer Tätigkeit, die sich mit der Materie selbst befasst, sich im Praktischen bewegt“ (Kroll 1990, S. 347). Darauf verweist auch Galle (1907, S. 1). Die „geodaisia“ war mit Landauf- und Landzuteilung verbunden.

Im Hinblick auf Helmerts Definition stellt sich allerdings die Frage, mit welcher Bedeutung die Begriffe Geodäsie, Vermessungswesen und Feldmesskunst im 19. Jahrhundert verwendet wurden. Fischer (1845) behandelt die Methode der kleinsten Quadrate als Instrument der Höheren Geodäsie. Gauß hält 1848 eine Vorlesung unter der Überschrift: „Höhere Geodäsie“ und ordnet seine Ausführungen über die trigonometrischen Messungen im Königreich Hannover diesem Bereich zu (Gauß und Frischauf 1910). Parallel war die Einteilung in Niedere und Höhere Vermessungskunde üblich, so etwa bei Hierl (1842). Auch im weiteren 19. Jahrhundert werden Lehrbücher publiziert, die sich ausdrücklich mit Feldmesskunst befassen und auf die Nennung der Geodäsie im Titel verzichten (Pietsch 1891). Das bedeutet allerdings nicht, dass der Begriff damit ausgeschlossen wurde, so findet sich in der Einleitung eines solchen Buches: „Die Geodäsie oder Feldmeßkunst (auch praktische Geometrie genannt)“ (Schlieben und Montag 1870, S. 1). In den Einleitungen dieser Lehrbücher wird oftmals eine Zweiteilung vorgenommen: „Die Feldmeßkunst kann nach dem Umfange der auszumessenden Flächen, und nach den Personen, die sich damit beschäftigen, in zwei Theile getheilt werden. Kommt es auf die Ausmessung eines ganzen Landes von hunderten oder tausenden Quadratmeilen an: so kann man sie Landmeßkunst nennen. Ist nur eine kleine Fläche von einer oder höchstens einigen Quadratmeilen *), oder noch weniger auszumessen, so kann man sie ausschließlich Feldmeßkunst nennen“ (Crelle 1826, S. 1). Es ist bemerkenswert, dass Crelle (1826, S. 2) auf eine damit verbundene soziale Trennung hinweist, die auch Helmerts Karriere prägt: „In der That beschäftigen sich auch in der Regel Personen, welche die Ausmessung eines ganzen Landes zu unternehmen fähig sind, mit der Ausmessung kleiner Flächen nicht, und umgekehrt“. Die Feldmesskunst⁷ wird durch Herrmann (1861, S. 2) wie folgt bestimmt: „Sie lehrt jedes gegebene Stück der Erdoberfläche genau nach seiner Größe zu bestimmen, seine Gestalt und die darauf befindlichen Objekte, als Flüsse, Wege, Gebäude u.s.w., in Grundriß zu bringen“.

Eine Begriffsgeschichte kann hier nicht geleistet werden und müsste zudem aus einer interdisziplinären Perspektive erfolgen. In den Begriffen spiegeln sich übergeordnete Prozesse, wie etwa der Übergang der Vermessungstätigkeit von Privatpersonen auf Behörden, das Bestreben der Staaten nach rationalerer Verwaltung im Rahmen der Landesaufnahme - aber auch subtilere Vorgänge, wie etwa die Konstruktion von Karten und Grenzen als Symbole und Werkzeuge der Macht (Schneider 2012). Eine aufschlussreiche Untersuchung dessen aus kartographischer Sicht und einen Überblick über die Literatur zur Landesvermessung und Kartographie von 1750 bis 1800 gibt Fieseler (2013).

Wie Bialas (1970) ausführlich diskutiert, wird der Begriff Geodäsie in der frühen Neuzeit und, wie die oben angeführten Beispiele belegen, bis in das 19. Jahrhundert als praktische Geometrie aufge-

⁷ Interessanterweise scheint sich Helmerts Definition nach 1880 auch auf die Definition des Begriffs „Feldmesskunst“ ausgewirkt zu haben, denn diese hat im gleichen Werk, aber der Ausgabe von 1891: „die Aufgabe, größere oder kleinere Teile der Erdoberfläche auszumessen und zeichnerisch darzustellen“ (Pietsch 1891, S. 3).

fasst und mit der Landmesskunst gleichgesetzt. Im Zusammenhang mit der Etablierung der Geodäsie als eigenständiger, wissenschaftlicher Disziplin im 19. Jahrhundert erwies sich diese Auffassung als unzureichend. Bruns (1878) führt seine wegweisende Definition ein: „Das Problem der wissenschaftlichen Geodäsie ist die Ermittlung der Kräftefunktion der Erde“ (Bruns 1878). Dagegen bestimmt Helmert 1880 die Geodäsie als die „Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“ (Helmert 1880). Ihr Hauptziel besteht für ihn in der Ableitung der Gestalt der Erde, speziell der Erdoberfläche, durch Messungen. Die dafür notwendigen mathematischen und physikalischen Methoden und Konzepte legte Helmert mit besonderer Rücksicht auf die Erdmessung dar.

Helmert ordnet seinen Tätigkeits- und Forschungsbereich der Höheren Geodäsie zu, die er von der Niederen Geodäsie unterscheidet. Die praktischen, räumlich begrenzten Vermessungstätigkeiten, die etwa mit dem Kataster oder Bauaktivitäten zusammenhängen, sind dagegen Gegenstand der Niederen Geodäsie. Die Teilung wird auch an die Bezugsflächen gekoppelt. In der Folge wird die Höhere Geodäsie oftmals überhaupt mit der Geodäsie gleichgesetzt und auf die Erde als Ganzes bezogen, so etwa bei Baeschlin (1948, XV): „In der Geodäsie, oder der Höheren Geodäsie, beschäftigen wir uns mit der Erde als Ganzem“.

Im Rahmen des Paradigmenwechsels, den Helmert wesentlich vorantreibt und der die geometrische Konzeption der Geodäsie um ihre physikalische Komponente erweitert, wird die herkömmliche Bedeutung des Begriffs als angewandte, praktische Geometrie verschoben. Die Unterteilung in zwei Bereiche (Land/Feld) wird allerdings weitergeführt. Das Begriffspaar „Niedere/Höhere“ führt Ketter (1925, S. 466) auf die für den jeweiligen Bereich notwendige niedere bzw. höhere Mathematik zurück. Die Schüler Helmersts verwenden weitgehend die Terminologie ihres Lehrers. So definiert Eggert (1907, S. 1): „Das Arbeitsgebiet der niederen Geodäsie sind einzelne Teile der Erdoberfläche, im Höchsthalle ganze Staatsgebiete, das Ziel der höheren Geodäsie ist die Bestimmung der Gestalt der ganzen Erde“. Es ist bemerkenswert, dass hier die Abgrenzung zwischen der Landesaufnahme und dem Geodätischen Institut reproduziert wird. Selbst die Vermessung des gesamten Staatsgebietes, der klassische Aufgabenbereich der Landesaufnahme, wird als ein Gegenstand der Niederen Geodäsie bestimmt. Auf die Fragwürdigkeit der Gliederung in eine Höhere und Niedere Geodäsie und die damit verbundene Gefahr von Werturteilen, weist bereits Ketter (1925, S. 467) hin, für den Helmert vor allem den Charakter der Geodäsie als Naturwissenschaft betont. Dennoch wird die Einteilung weiter reproduziert.

Im Vorwort zu Werkmeister et al. (1943) stellt A. Pfitzer, der einflussreiche Ministerialdirigent⁸ im Reichsministerium des Innern, fest: „Die Höhere Geodäsie konnte nur in ihren Grundlagen Aufnahme finden“. Samel (1949, S. 63), der sein Nachschlagewerk mit der Definition Helmersts einleitet, betrachtet ganz in dessen Sinne die Höhere Geodäsie (Erdmessung) als Bestimmung der Form der Niveaufäche. Land- und Feldmessung und Niedere Geodäsie werden gleichgestellt und auf die vermessungstechnischen Arbeiten für Karten und Pläne und Zwecke des öffentlichen und privaten Eigentums reduziert (Samel 1949, S. 30). Unter ausdrücklichem Verweis auf Helmert unterteilt

⁸ Albert Pfitzer, seit 1933 NSDAP-Mitglied, trieb seine Karriere im RMdI erfolgreich voran und verweist in der Einleitung erwartungsgemäß auch auf den politischen Aspekt der Vereinheitlichungen des Vermessungswesens: „So erfahren wir nun aus dem Lexikon, daß dieses Jahr 1943 uns mahnt, nicht nur des Altmeisters der wissenschaftlichen Geodäsie, des Sachsen Friedrich Robert Helmert, sondern auch eines unermüdlichen Kämpfers für ein tüchtiges, straff zusammengefasstes deutsches Vermessungswesen, des Bayern Karl Steppes, an ihrem hundertsten Geburtstag zu gedenken“ (Werkmeister et al. 1943).

Kneissl (1958, S. 1) in eine Niedere und Höhere Geodäsie. Die Unterteilung strahlte über Deutschland hinaus (Zakatov 1957). Torge (2003, S. 2) folgt der „im englischen und französischen Sprachraum üblichen Einteilung“ und versteht unter Höherer Geodäsie bzw. Geodäsie nur Erdmessung und Landesvermessung. Unter Niederer Geodäsie bzw. Vermessungskunde werden die Einzelvermessungen zusammengefasst.

Getragen von der Autorität und dem Erfolg der Monographien Helmerts fand - zumindest in Deutschland - seine Definition der Geodäsie und ihre Unterteilung eine breite Zustimmung und große Verbreitung. Helmert selbst scheint sich nicht vertieft mit der Frage auseinandergesetzt zu haben, ob die von ihm gegebene Definition den Gegenstand ausreichend präzise bestimmt, sich nur auf eine geometrische Deutung bezieht oder die von ihm etablierten physikalischen Konzepte mit einschließt. Mit den Kernbegriffen (Ausmessen, Abbilden, Erdoberfläche) schließt Helmert jedenfalls an bereits vor 1880 gegebene Definitionen an: „Feldmessen und Nivelliren heißt: einen größeren oder kleineren Theil der Oberfläche der Erde und die natürlichen oder zufälligen Abtheilungen desselben ausmessen. Die geometrischen, oder bestimmenden Abmessungen der Figuren sind Linien und Winkel, und um die Oberfläche bildlich darzustellen, zeichnet man im Kleinen, auf Papier oder einer anderen, gewöhnlich ebenen Tafel, ihre horizontale Projection, oder den Grundriß, welche Carte heißt“ (Crelle 1826, S. 1).

Die Aktualität der Helmertschen Definition wurde von Draheim (1971) unter Beteiligung maßgeblicher Wissenschaftler kontrovers und unter Einschluss des Verhältnisses zur Bruns berühmter Definition von 1878 diskutiert. Im Ergebnis wird eine Erweiterung der Definition um das Schwerefeld und zeitliche Änderungen angedacht. Prof. Levallois, Generalsekretär der IAG, kennt die Definition Helmerts erstaunlicherweise nicht (Draheim 1971, S. 242). Einige der Diskutanten kommen im Rahmen einer systematischen Auslegung unter Verweis auf das Gesamtwerk Helmerts zum Ergebnis, dass die physikalische Sichtweise in der umfassenderen Definition Helmerts enthalten sei. Wolf betont die Notwendigkeit, zwischen Aufgaben der Geodäsie und Aufgaben der Geodäten zu unterscheiden (Draheim 1971, S. 239). Zusammenfassend stellt er fest: „Bedenkt man all diese Aspekte, so würde man mit der zweifellos von so hoher Warte und mit so großem Weitblick konzipierten Geodäsie-Definition Helmerts Abbruch tun und möglicherweise im Blickfeld kommender Generationen schwer bestehen können, wollte man heute der Helmertschen Definition einen zu eng gefaßten Sinn unterstellen“ (Draheim 1971, S. 241). Es ist auffällig, dass sich dieser weitgehend professorale Diskurs in den Bahnen des Helmertschen Konzepts einer Höheren Geodäsie bewegt. Obwohl die klassische Formulierung nicht demonstrativ verworfen wird, machte die Umfrage deutlich, dass sie dem Stand der Geodäsie nicht mehr präzise genug gerecht wurde.

Ab etwa 1970 werden zunehmend erweiternde Verweise auf das Schwerefeld und die Zeitabhängigkeit der 3D-Zielgrößen eingeführt: „Geodesy is the discipline that deals with the measurement and representation of the Earth, including its gravity field, in a three-dimensional time varying space“ (Associate Committee on Geodesy and Geophysics 1973). Krakiwsky und Vaníček (1978) stellen auf die Hauptfunktionen der Geodäsie und Subdisziplinen ab: Positionierung, Schwerefeld und Erfassung sowie deren Variationen. Dagegen stellt Bomford (1975) fest: „The literal meaning of ‘Geodesy’ is ‘Dividing the Earth’, and its first object is to provide an accurate framework for the control of topographical surveys”.

Rinner (1985, 112) definiert die Geodäsie als Lehre von der Ausmessung der Erde und anderer Himmelskörper in einem zeitabhängigen, dreidimensionalen Raum. Dabei erscheint der Begriff

Vermessungswesen als übergeordnet. Smith (1997) kritisiert, dass die verschiedenen Ansätze, die Geodäsie zu beschreiben, inhaltliche Schärfe verloren hätten und definiert: „Thus geodesy is the science that determines the figure of the earth and the interrelations of selected points on its surface by either direct or indirect techniques“ (Smith 1997, S. 2).

Ein weiteres, verbreitetes Bild sind die sog. drei Säulen der Geodäsie: Erdrotation, Geokinetik, Schwerefeld und deren zeitliche Variationen als Inhalt der Geodäsie (Plag und Pearlman 2009, S. 15). Moritz behandelt den interessanten Zusammenhang zwischen Bruns, Helmert sowie Einstein und führte die geometrische und physikalische Betrachtung dialektisch zusammen: „Geodäsie ist Geometrie (in 4D)“ (Moritz 2014, S. 201). Combrinck (2014, S. 384) fordert unter Verweis auf die zunehmende Bedeutung der Relativitätstheorie die Einführung eines vierten Pfeilers der Geodäsie: „Raumzeitkrümmung“ und schlägt die Bezeichnung „spacetimesy“ vor.

Buschmann (1992), ein Schüler Peschels, diskutiert ausführlich die verschiedenen Ansätze für eine Definition der Geodäsie und betont die Notwendigkeit, einer Zersplitterung entgegen zu wirken. Buschmann, Sohn eines selbständigen Vermessungsingenieurs, zielt darauf ab, die Geodäsie nicht allein auf Themen einer Höheren Geodäsie im Sinne Helmerts zu reduzieren: „Warum denn sollte das Liegenschaftswesen heute nicht mehr zu den Aufgaben der Geodäsie gehören, wo es doch sogar im Ursprung des Begriffs enthalten ist? Handelt es sich wirklich nicht um einen Teil der Disziplin, sondern nur um eine Aufgabe des Geodäten im Sinne von Wolf (Draheim 1971)?“ (Buschmann 1992, S. 24). Dementsprechend ist seine Definition so strukturiert, dass sie diese Verengung vermeidet: „Geodäsie ist die Wissenschaftsdisziplin vom Erkennen von Raum und Zeit im Bereich des Planeten Erde durch Messungen an der Verteilung und Bewegung geeigneter materieller Strukturen, insbesondere der Erdoberfläche und des Schwerefeldes. Die Geodäsie nimmt teil an Arbeitsprozessen von Disziplinen, die geodätische Erkenntnisse zur ziel- und zweckgerichteten Umgestaltung der erkannten Strukturen nutzen“ (Buschmann 1992, S. 137). Diese wissenschaftstheoretisch fundierte Definition hat sich, wie Buschmann (2002, S. 77) konstatiert, nicht durchgesetzt.

Die Helmertsche Definition findet sich auch heute, um den Zusatz der zeitlichen Veränderungen des Schwerefeldes und des ozeanischen Bereichs erweitert, in Lehrbüchern und Skripten der Geodäsie (Torge 2003), (Lu et al. 2016), (Tóth 2008). „Helmert’s definition is fundamental to geodesy even today“ (Torge und Müller 2012, S. 1).

5 Zusammenfassung

Die Geodäsie hat Helmert maßgebliche Impulse zu verdanken. Sein Beitrag bestand dabei nicht nur in seiner wissenschaftlichen Arbeit und der berühmten Definition der Geodäsie, sondern in besonderem Maß in der internationalen und interdisziplinären Profilierung des Königlichen Geodätischen Institutes: „Für die Entwicklung der Geodäsie war jedoch noch wichtiger, daß er die Herausforderungen seiner Zeit in der Gesamtheit erkannte und die Kraft besaß, deren Lösung in die Hand zu nehmen. [...] Trotz oder gerade wegen der großartigen Möglichkeiten, die uns heute zur Verfügung stehen, sind Erosionserscheinungen in der Geodäsie nicht zu übersehen. Der geballte Wille scheint zu fehlen. Helmerts „Ganzheitsmethode“ würde der wissenschaftlichen Geodäsie einen zentralen Platz bei der Erforschung des Systems Erde sichern“ (Rummel 1993, S. 594).

Wie Bialas (1984) richtig heraushebt, ist die Herausbildung einer disziplinären Matrix bzw. eines Paradigmas ein wesentlicher Entwicklungsschritt einer eigenständigen Wissenschaft. Tatsächlich kann Helmerts Hauptwerk als Normierung des zu diesem Zeitpunkt relevanten geodätischen Wissens interpretiert werden. Helmert war damit entscheidend an der Herausbildung einer internationalen Gemeinschaft von Wissenschaftlern beteiligt, die „in ihren fachlichen Urteilen weitgehend übereinstimmen, in ihrem Gebiet eng miteinander kommunizieren und sich bestimmten Normen gegenüber verpflichtet wissen“ (Bialas 1984, S. 18). Der maßgebliche Beitrag Helmerts zur Definition der Geodäsie liegt darin, dass er durch die Umsetzung seines Forschungsprogramms auf nationaler und internationaler Ebene das Paradigma der Geodäsie prägte. Die breite Akzeptanz, die seine Definition der Geodäsie fand, spiegelt die Bedeutung Helmerts in der Wissenschaftslandschaft wider. Die Formulierung selbst ist nicht innovativ und knüpft an eine traditionelle Auffassung von Geodäsie als angewandter Geometrie an. Der von Helmert eingeleitete Paradigmenwechsel findet nicht im ersten Satz des § 1, sondern in den folgenden Kapiteln der „Mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“ statt. Helmerts weniger berühmt gewordene Definition trifft dies präziser: „Die Höhere Geodäsie lehrt die Methoden zur Ermittlung der Gestalt der Niveauflächen und die Aufnahme beliebig großer Teil der Erdoberfläche durch Horizontalprojektion und Höhen mit Rücksicht auf die Gestalt der Niveauflächen“ (Helmert 1880, S. 6).

Bedauerlicherweise war mit der breiten Akzeptanz der Helmertschen Definition auch die der Unterscheidung zwischen einer Niederen und Höheren Geodäsie verbunden. Von weitreichender Bedeutung dafür, was mit und nach Helmert unter Höherer Geodäsie verstanden wird, ist das aus fiskalischen, verwaltungstechnischen und politischen Gründen vereinbarte Aufgabenprofil des Geodätischen Instituts. Verstärkt durch die beherrschende Stellung des Instituts und das wissenschaftliche Profil Helmerts, überträgt sich diese thematische Verengung auf den Begriff „Geodäsie“. Die restriktive Interpretation der gesamten Wissenschaft als Erdmessung bzw. Physikalische und Mathematische Geodäsie wird, insbesondere im universitären Bereich, durch die erfolgreichen Schüler Helmerts begünstigt. Diese Verengung war unter den spezifischen Bedingungen am Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts im Hinblick auf die institutionelle Verankerung der Wissenschaft und die Akquirierung von Mitteln aussichtsreich. Die Geodäsie behandelte mit der Erdmessung ein „Megathema“ der Neuzeit, was ihr gesellschaftliche Anerkennung und Bekanntheit sicherte. Heute ist die Geodäsie eine von vielen unverzichtbaren Disziplinen, die im Rahmen der Erforschung des „Systems Erde“ Beiträge liefern und auch die Ankoppelung an die Klimaforschung liefert keinen adäquaten Ersatz. Zugleich ist ohne Geodäsie die Lösung anderer wesentlicher gesellschaftlicher Probleme, wie etwa der Betrieb eines Geobasisinformationssystems, die Sicherung des Eigentums durch das Liegenschaftskataster oder ein nachhaltiges Landmanagement, nicht möglich. Dennoch gibt es massive Probleme mit der Außenwahrnehmung: „Unser Studium müssen wir eigentlich jedes Mal erklären“ (Bärbel Hilbig). Das Problem ist nicht neu: „Was ist das eigentlich, ein Geodät? Gehört er zu einer Sekte??“ (Lucht 1995, S. 527). Die heutigen Absolventen und Absolventinnen werden angesichts der Stellensituation nur zu einem sehr geringen Prozentsatz in der geodätischen Forschung tätig werden. Die Mehrzahl wird in einer Welt, die durch Volatilität, Ungewissheit, Komplexität und Ambiguität gekennzeichnet ist, in Verwaltung und Wirtschaft interdisziplinäre Probleme lösen. Nicht nur für ihren beruflichen Erfolg und die Nachwuchsentwicklung im Technischen Referendariat ist es wichtig, dass die Geodäsie in ihrer ganzen Bandbreite und Bedeutung für Gesellschaft, Politik und Verwaltung wahrgenommen wird.

Fest steht: „Die Geodäsie ist eine messende Wissenschaft“ (Rummel 2014, S. 211). Es wird im Diskurs über die Definition der Geodäsie in der Regel implizit vorausgesetzt, dass in der physikalischen Außenwelt Untersuchungsobjekte existieren, deren Eigenschaften aufgrund objektiver Messungen durch einen von ihr unabhängigen Beobachter abgeleitet werden können. Dieses Konzept verursacht nicht nur im Hinblick auf die für die Geodäsie zunehmend bedeutsamere Relativitätstheorie und Quantenphysik erkenntnistheoretische Probleme. Diese lassen sich teilweise dadurch umgehen, dass man den Vorgang der Messung selbst einbezieht. Durch die sog. Operationalisierung wird ein wissenschaftlicher Begriff dadurch festgelegt, dass die Messmethode angegeben wird, mit der festgestellt wird, ob dem untersuchten Gegenstand dieser Begriff zukommt (Bauberger 2016, S. 22). Im Sinne eines strukturalistischen Theorienkonzepts dienen diese Begriffe dazu, richtige Vorhersagen zu machen und nicht Aussagen über "Wahrheit" zu treffen (Bauberger 2016, S. 83). Die Vorhersagen und Feststellungen der Geodäsie, u. a. über das System Erde, Tatbestände an Grund und Boden oder Bewegungen von Bauwerkspunkten, stehen im Zusammenhang mit der Nutzbarmachung, Gestaltung, Verrechtlichung und Beeinflussung der Welt. Obwohl nicht jeder postmoderne Ansatz sinnhaft ist (Sokal und Bricmont 2001) und auch empirische Begriffe theorieabhängig bleiben (Popper 1935), ergibt sich daraus ein Ausgangspunkt für weiteres, kontroverses Nachdenken über das Wesen der Geodäsie im 21. Jahrhundert. Es ist eine Definition der Geodäsie wünschenswert, die den spezifischen Gegenstandsbereich der Wissenschaft, ihre Methoden und ihre gesellschaftliche Funktion reflektiert.

LITERATURVERZEICHNIS

Althoff, Friedrich: Entwurf vom 23.7.1886 für ein Schreiben an Bismarck die Übertragung von Aufgaben an Helmert betreffend. GStA PK, HA VI NI. Althoff, F.T. 277, Bl. 29–30, 1886.

Associate Committee on Geodesy and Geophysics: Minutes of the 60th meeting. Ottawa, 1973.

Baeschlin, Carl Fridolin: Lehrbuch der Geodäsie. Zürich: Orell Füssli, 1948.

Bärbel Hilbig: Leibniz-Uni muss in unbekannten Studiengängen wie Geodäsie um Studenten werben (03.02.2016). <http://www.haz.de>, letzter Zugriff: 02.2017.

Bauberger, Stefan: Wissenschaftstheorie. Eine Einführung. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer (Kohlhammer Kenntnis und Können, Band 20), 2016.

Becker, Hans-Gerd: Taufe der Fugro Helmert. In: *Hydrographische Nachrichten* 30 (96), S. 36-37, 2013.

Bialas, Volker: Praxis geometrica. Zur Geschichte der Geodäsie am Beginn der Neuzeit. München: Verl. der Bayer. Akad. der Wiss (Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Reihe E, Geschichte und Entwicklung der Geodäsie, 11), 1970.

Bialas, Volker: Die Geodäsie und ihre Geschichte. Wissenschaftstheoretische Aspekte. München: Beck (Deutschen Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Reihe E, Geschichte und Entwicklung der Geodäsie, 22), 1984.

Bomford, G.: Geodesy. 3rd ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

- Bruns, Heinrich: Die Figur der Erde. Ein Beitrag zur Europäischen Gradmessung. Berlin: Stankiewicz (Publication des Königlich Preussischen Geodätischen Instituts), 1878.
- Buschmann, Ernst: Gedanken über die Geodäsie. Einige naturwissenschaftliche, technische, philosophische und wirtschaftliche Aspekte. Stuttgart: Wittwer, 1992.
- Buschmann, Ernst: Geowissenschaften und Geodäsie. In: *Vermessung Brandenburg* (2), S. 76–79, 2002.
- Combrinck, Ludwig: Space geodesy, VLBI and the fourth pillar of geodesy; spacetime curvature. In: *IVS General Meeting Proceedings*, 2014, letzter Zugriff: 02.2017.
- Crelle, A. L.: Handbuch des Feldmessens und Nivellirens in den gewöhnlichen Fällen. Berlin: Reimer, 1826.
- Draheim, Heinz: Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche. Eine Umfrage zur heutigen Situation der Geodäsie. In: *AVN* 78 (7), S. 237–251, 1971.
- Eggert, Otto: Einführung in die Geodäsie. Leipzig: Teubner, 1907.
- Eggert, Otto: Friedrich Robert Helmert †. In: *zfv* XLVI, S. 282–295, 1917.
- Fieseler, Christian: Der vermessene Staat. Kartographie und die Kartierung nordwestdeutscher Territorien im 18. Jahrhundert. Hannover: Verlag Hahnsche Buchhandlung (Veröffentlichungen der Historischen Kommission für Niedersachsen und Bremen, 264), 2013.
- Fischer, Philipp: Lehrbuch der höheren Geodäsie. Darmstadt: Druck und Verlag von Carl Wilhelm Leske, 1845.
- Galle, A.: Geodäsie. Leipzig: Göschen (Sammlung Schubert, 23), 1907.
- Gauß, Carl Friedrich; Frischauf, Johannes (Hg.): Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie. Leipzig: Engelmann (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, 177), 1910.
- Goßler, Gustav: Schreiben an preuß. König über Konferenz der Internationalen Erdmessung 1886 und Bitte um Ordensverleihung vom 13.12.1886. GStA PK, HA I Rep. 89 Nr. 21322, Bl. 122-125, 1886.
- Helmert, F. R.: Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit Anwendungen auf die Geodäsie und die Theorie der Messinstrumente. Leipzig: Teubner, 1872.
- Helmert, Friedrich Robert: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. Einleitung und I. Teil: Die mathematischen Theorien. Leipzig: Teubner, 1880.
- Helmert, Friedrich Robert: Schreiben an den Kultusminister vom 20.1.1910 Messungen in Freiberg betreffend. GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 19, Bl. 54-55, 1910a.
- Helmert, Friedrich Robert: Schreiben an den Kultusminister vom 21.6.1910 mit Kostenschätzung für Umbau der Brunnenanlage in Potsdam, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 19, Bl. 97, 1910b.
- Helmert, Friedrich Robert: Mathematical and Physical Theories of Higher Geodesy, Part 2, The Physical Theories: Zenodo, 1964.

Helmert, Moritz, 2012: Helmert, Bruns, Einstein. Vorgelegt beim Kolloquium der Leibniz-Sozietät über Themen der Wissenschaftlichen Geodäsie. Leibniz-Sozietät. Berlin, 12.09.2012. <http://leibnizsozietat.de>, letzter Zugriff: 02.2017.

Herrmann, Friedrich: Katechismus der Feldmesskunst mit Kette, Winkelspiegel und Messtisch. Leipzig: Weber, 1861.

Hierl, Johann E.: Lehrbuch der höhern Vermessungskunde, oder: Anleitung zur trigonometrischen Bestimmung der Punkte auf der Erdoberfläche und der Höhen der Berge. Augsburg: Kollmann, 1842.

Höpfner, Joachim: Bibliographie Friedrich Robert Helmert (1843 - 1917). GFZ, 2013. <http://gfzpublic.gfz-potsdam.de>, letzter Zugriff: 02.2017.

Isotow, A. A.: Über die Erforschung der Geschichte der Geodäsie als Zweig der Wissenschaft und Technik. In: *Vermessungstechnik* 31 (7), S. 217–220, 1983.

Ketter, K.: Zur Systematik der Geodäsie. In: *zfv* (29), S. 461–468, 1925.

Kneissl, Max: Mathematische Geodäsie (Landesvermessung). Erste Hälfte: Die Figur der Erde und die geodätischen Bezugsflächen. Die Feldarbeiten bei der Haupttriangulation (Trinangulation I.O.). In: Wilhelm Jordan und Max Kneissl (Hg.): Handbuch der Vermessungskunde, Band IV. 10. völlig neu bearb. und neu gegliederte Ausg. Stuttgart: J.B. Metzler, 1958.

Kohlschütter, Ernst: Schreiben an den Minister für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung vom 24.4.1924 die Abgrenzung zu Landesaufnahme betreffend. GStA PK, HA I Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. XI Teil II Nr. 5 Bd. 20, Bl. 264, 1924.

Krakiwsky, E.J.; Vaníček, P.: Geodesy reborn. In: *Proceedings of Annual Meeting of ACSM-ASP*, 1978, 1978, S. 369–373, 1978.

Kroll, Josef: Geodät - Geodäsie. Eine Begriffsanalyse. Brief eines Kölner Philologen an einen Kölner Geodäten. In: *AVN* (10), 347–350, 1990.

Kummer, Klaus: Führungsqualifikation für Geodätinnen und Geodäten: Das neue technische Referendariat in Deutschland. In: *zfv* 139 (5), S. 324–328, 2014.

Kutterer, Hansjörg: Geodäsie. Hg. v. DVW, 2010. <http://www.dvw.de>, letzter Zugriff: 03.2017.

Löschner, Fritz; Wolf, Helmut: Helmert's Entwicklung und Bedeutung als Lehrer der praktischen Geometrie. Die wissenschaftliche Ausstrahlung Helmert's in die Gegenwart. Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (Veröffentlichungen des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfaelischen Technischen Hochschule Aachen, 18), 1970.

Lu, Zhiping; Qu, Yunying; Qiao, Shubo: Geodesy. Introduction to Geodetic Datum and Geodetic Systems. Softcover reprint of the original 1st ed. 2014. Berlin: Springer Berlin; Springer, 2016.

Lucht, Harald: Unser Umgang mit dem Grund und Boden - Lebensräume erfassen, werten und gestalten. In: *zfv* 120 (11), 1995.

Moritz, Helmut: Helmert, Bruns, Einstein. Vortrag auf dem Kolloquium „Wissenschaftliche Geodäsie und ihre Geschichte“ am 14. September 2012 in Berlin. In: *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin* 118, S. 195–202, 2014.

Oelsner, Christian: Zur Geschichte des Instituts für Geophysik an der TU Bergakademie Freiberg. In: Horst Neunhöfer (Hg.): *Zur Geschichte der Geophysik in Deutschland. Jubiläumsschrift zur 75jährigen Wiederkehr der Gründung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*. Hamburg, S. 87–93, 1997.

Peschel, Horst: Gedenkrede zu Helmerts 50. Todestag am 15. Juni 1967 in Freiberg. In: *Vermessungstechnik* 15 (9), S. 334–340, 1967.

Pietsch, Carl: *Katechismus der Feldmeßkunst*. 5., vollst. umgearb. Aufl. Leipzig: Weber (Webers illustrierte Katechismen, 44), 1891.

Plag, H. P.; Pearlman, M.: *Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020*: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

Platen, Hans Josef; Torge, Wolfgang: Zum 150. Geburtstag von Friedrich Robert Helmert. In: *zfv* 118 (12), S. 581, 1993.

Popper, Karl R.: *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie d. modernen Naturwissenschaft*. Wien, Berlin: Springer; [J. Springer] (Schriften zur wissenschaftlichen Weltauffassung, Bd. 9), 1935.

Reinert, Uwe; Blaschke, Herbert; Brockstieger, Uwe: *Technische Statistik in der Qualitätssicherung. Grundlagen für Produktions- und Verfahrenstechnik*. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2013. <http://dx.doi.org>.

Rinner, Karl: Über die ordnende Funktion der Geodäsie - Die Geodäsie als Ordnungsprinzip. In: *ÖZfVuPh* 73 (2), 111–120, 1985.

Rummel, Reiner: Erdmessung heute aus der Sicht Helmerts. In: *zfv* (12), S. 590–595, 1993.

Rummel, Reiner: Geodäsie in Zeiten des Wandels - Versuch einer Ortsbestimmung. In: *zfv* 139 (4), S. 211–216, 2014.

Samel, Paul: *Geodäsie in Begriffen und Definitionen*. Berlin: Wichmann (Sammlung Wichmann, Bd. 15), 1949.

Schlieben, Wilhelm Ernst August von; Montag, Ignaz Bernhard: W.A. v. Schlieben's vollständiges Hand- und Lehrbuch der gesamten Feldmeßkunst. Enth.: d. Aufnahme, Berechnung u. Theilung aller Felder ... sowie e. Sammlung d. vorzüglichsten Examinations- u. Prüfungs-Aufgaben ; e. Nachschlagebuch für Geometer, Forstbeamte, Militairs, Oekonomen u. diejenigen, welche Feldgrundstücke zu vermessen haben. 8., sehr verb. u. verm. Aufl. Quedlinburg u.a.: Ernst, 1870.

Schneider, Ute: *Die Macht der Karten. Eine Geschichte der Kartographie vom Mittelalter bis heute*. 3., erw. und aktualisierte Aufl. Darmstadt: Primus, 2012.

Smith, James R.: *Introduction to geodesy. The history and concepts of modern geodesy*. New York: Wiley (Wiley series in surveying and boundary control), 1997.

Sokal, Alan D.; Bricmont, Jean: Eleganter Unsinn. Wie die Denker der Postmoderne die Wissenschaften mißbrauchen. Ungekürzte Ausg. München: Beck, 2001.

Torge, Wolfgang: Geodäsie. 1. Aufl. Berlin: De Gruyter, 2003.

Torge, Wolfgang; Müller, Jürgen: Geodesy. 4. ed. Berlin: De Gruyter, 2012.

Tóth, Gy., 2008: GEODESY Geodesy. Lecture Notes. Skript. Budapest University of Technology and Economics, Budapest. <http://sci.fgt.bme.hu>, letzter Zugriff: 02.2017.

Universität Hannover: Ingenieurwissenschaften - Geodäsie und Geoinformatik (B.Sc.), 2016. <https://www.ing.uni-hannover.de>, letzter Zugriff: 02.2017.

Universität Stuttgart: Studiengang Geodäsie und Geoinformatik in Stuttgart. Uni Stuttgart - Geodätisches Institut, 2016. <http://www.geodaesie.uni-stuttgart.de>, letzter Zugriff: 02.2017.

Werkmeister, Paul; Niemczyk, Oskar; Schwidefsky, Kurt; Slawik, Kurd: Lexikon der Vermessungskunde. Unter Mitarbeit von Paul Werkmeister. Berlin: Wichmann, 1943.

Wilrich, Peter-Theodor: Statistik in Naturwissenschaft und Technik. In: Heinz Grohmann (Hg.): Statistik in Deutschland. 100 Jahre Deutsche Statistische Gesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 137–150, 2011.

Wolf, Helmut: F. R. Helmert und die moderne Geodäsie. (Zu seinem 50. Todestag am 15. Juni 1967). In: *zfv* 92 (7), S. 237–240, 1967.

Wolf, Helmut: Friedrich Robert Helmert - sein Leben und Wirken. In: *zfv* 118 (12), 582-590, 1993.

Zabell, S. L.: On Student's 1908 Article "The Probable Error of a Mean". In: *Journal of the American Statistical Association* 103 (481), S. 1–7, 2008. <http://cda.mrs.umn.edu>, letzter Zugriff: 02.2017.

Zakatov, P. S.: Lehrbuch der höheren Geodäsie. Unter Mitarbeit von Heinz Arthur Corazza. Berlin: Verl. Technik, 1957.